

## ESTUDO DO DESEMPENHO LUMÍNICO PARA UM SISTEMA DE FACHADA MODULAR DESTINADO À PORTUGAL

**Helenice M. Sacht<sup>(1)</sup>; Luis Bragança<sup>(2)</sup>; Manuela Almeida<sup>(3)</sup>; Rosana Caram<sup>(4)</sup>**

(1) Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, e-mail: [hmsacht@civil.uminho.pt](mailto:hmsacht@civil.uminho.pt)

(2) Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, e-mail: [braganca@civil.uminho.pt](mailto:braganca@civil.uminho.pt)

(3) Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, e-mail: [malmeida@civil.uminho.pt](mailto:malmeida@civil.uminho.pt)

(4) Universidade de São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, e-mail: [rcaram@sc.usp.br](mailto:rcaram@sc.usp.br)

### **Resumo**

*Aumentar o desempenho em termos de iluminação natural é uma das melhores estratégias para reduzir os gastos energéticos com iluminação artificial em edifícios. A iluminação natural não é proveniente apenas da luz solar direta, mas também da iluminação proporcionada pelo céu em dias nublados. No presente estudo são apresentados os resultados em termos de desempenho lumínico de vidros duplos para um novo conceito de sistema de fachada modular destinado inicialmente à Portugal. Foram determinados o fator de luz do dia e nível de iluminância para quatro cidades de Portugal, utilizando o software Ecotect 5.6, variando os tipos de vidros das fachadas entre vidro duplo de controle solar (verde) e vidro duplo auto-limpante. São apresentados resultados de simulações computacionais de desempenho lumínico para um modelo (25m<sup>2</sup>). O fator luz do dia e os níveis de iluminância foram obtidos por meio de simulação computacional. Os resultados indicaram um melhor desempenho para o vidro duplo auto-limpante para todas as latitudes analisadas. Um desempenho inferior foi observado com o uso do vidro duplo composto por vidro de controle solar de cor verde e vidro low-e.*

**Palavras-chave:** Fachada; Desempenho lumínico; Vidros; Ecotect.

### **Abstract**

*The daylighting performance improvement is one better strategy to reduce the artificial lighting consumption in buildings and obviously requires solar radiation from the exterior. Daylighting comes not only from direct sunlight but also from illumination provided by the sky on overcast days. Additionally, this work reports a part of the results of an ongoing investigation about a new modular façade system concept for Portugal, especially on the daylighting performance of double glazing modules. Ecotect 5.6 software was used to obtain the daylight factor and illuminance level for four Portugal cities and two double glazing façade modules, composed by green solar control glass and low-e glass; self-cleaning glass and float clear glass. A typical dwelling room (25m<sup>2</sup>) was simulated. Daylight factor and illuminance level were obtained by means of computational simulations. These results were compared to daylighting standards and recommendations. Results showed a better daylight performance for double self-cleaning glazing for all cities. A lower performance was observed when using green solar control glass and low-e glass.*

**Keywords:** Façades; Daylighting; Glass; Ecotect.

## 1. INTRODUÇÃO

Na União Europeia, o consumo de energia elétrica em iluminação no setor residencial representa mais de 12% do consumo total deste setor. Cerca de 20% da eletricidade consumida numa habitação é devida à iluminação e no setor dos serviços, essa percentagem, pode chegar até 60%. Em Portugal, a situação é idêntica. No setor doméstico a iluminação representa em termos médios cerca de 12% do consumo de energia elétrica e no setor dos serviços sobe para 20%, existindo em ambos os setores um elevado potencial de economia de energia que deve-se explorar (DGEG, 2012). Esses valores poderiam ser minimizados, a partir da implementação de estratégias de melhor utilização da iluminação natural.

A iluminação natural disponível no interior de um compartimento depende da disponibilidade de luz natural no exterior. Os aspectos quantitativos da iluminação natural dependem das condições de nebulosidade do céu; do período do dia e do ano; das características geométricas do edifício e dos compartimentos; das dimensões e características espectrofotométricas dos vãos envidraçados; do grau de obstruções exteriores e ainda das características reflectométricas dos materiais superficiais interiores. Além dos aspectos relacionados com a expressão quantitativa da iluminação natural, há ainda os fatores adicionais relacionados com os aspectos qualitativos que regulam o ofuscamento (SANTOS, 2001).

O uso da luz solar apresenta grandes vantagens em relação à luz artificial. Além de ser gratuita, limpa, e disponível, possui vantagens de caráter ergonômico, energético e económico. Produz alta iluminância, permite a distinção e percepção de cores, estas propriedades indicam que a luz solar fornece boas condições de visão. Além disto, devido à própria evolução, o olho humano percebe como naturais os objetos iluminados pela luz solar. Estudos mostram que trabalhar num ambiente iluminado somente por luz artificial é prejudicial à saúde e resulta em maior stress e desconforto (IEA, 2000).

Uma das formas de estudo das condições de iluminação natural é o uso de programas de simulação computacional. Estudos realizados comprovam que o uso do software Ecotect para simulações de desempenho lumínico apresentaram resultados mais próximos da realidade do que o software Desktop Radiance. Portanto, o uso desse tipo de ferramentas pode auxiliar na escolha de soluções que implicam em melhor desempenho lumínico. Durante o desenvolvimento de um protótipo denominado “Janela Eco-Eficiente”, por possuir vidros especiais e incorporar soluções passivas de aquecimento, observou-se que os valores médios para as iluminâncias e fator luz do dia (FLD) obtidos no Ecotect foram próximos dos valores medidos “in loco” variando neste caso entre 4% e 7% (CARDOSO, 2008).



Figura 1 - Edifício Solar XXI.

Em Portugal pode-se citar o Edifício Solar XXI como exemplo de projeto de arquitetura no qual o aproveitamento da luz natural foi um dos objetivos prioritários, permitindo conjugar adequados níveis de iluminação interior e minimizar a utilização de luz artificial (Figura 1).

Diante disso, este estudo trata de parte do desenvolvimento de um novo sistema de fachadas destinado inicialmente a Portugal, focando neste caso, no desempenho lumínico de vidros duplos destinados a um módulo padrão.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Definição do Módulo Padrão para a Análise de Desempenho Lumínico

O modelo considerado para o estudo foi uma sala isolada térrea, com geometria regular de 5,0 x 5,0 (25m<sup>2</sup>) e pé direito de 2.80m, de acordo com as recomendações do “Regulamento Geral das Edificações Urbanas” (RGEU, 2007). Os módulos envidraçados das fachadas possuem uma dimensão total de 2.50 x 2.50 (6,25 m<sup>2</sup>) o que corresponde a 25 pequenos módulos envidraçados (0.50x0.50m<sup>2</sup>). A avaliação das iluminâncias interiores ( $E_{int}$ ) foi feita com base numa grelha de pontos situada num plano de trabalho a uma distância de 0,8m acima do piso, espaçados aproximadamente 0,125m. A distância entre a grelha e as paredes interiores foi cerca de 0,1m. O FLD apresentado foi calculado a partir da média aritmética do conjunto de pontos definidos pela malha. A partir dos resultados verificou-se a adequação em relação aos requisitos recomendados para condições aceitáveis de iluminação natural para o nível de iluminância e fator luz do dia (FLD). Os resultados foram obtidos por meio do software Ecotect 5.6. Para a determinação da iluminância e do FLD foi considerada uma distribuição de luminância de céu encoberto padrão da CIE e orientação solar sul. O nível de iluminação foi calculado a partir da latitude do local, com valores distintos para cada cidade analisada (Tabela 1) e comparado a valores recomendados.

Tabela 1 - Nível de Iluminação por Cidade.

Cidades		
Cidades	Latitude	Nível de Iluminação (lux)*
Funchal-Madeira	N 32° 39'	8500
Guimarães	N 41 08'	6500
Lisboa	N 38° 43'	7000
Porto	N 41° 13	6500

Fonte: Software *Ecotect* 5.6.

### 2.2. Vidros Considerados nas Simulações

Alguns fatores importantes devem ser observados na seleção de vidros para utilização em fachadas, tais como: factor solar, ganho de calor solar, coeficiente de sombreamento, transmitância visível, e, além disso, o coeficiente de transmissão térmica (U). Os vidros considerados para as simulações são provenientes da empresa Saint-Gobain Glass. A Tabela 2 apresenta as principais propriedades dos vidros duplos analisados com base no software desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Berkeley Window 6.2.33.0. Este software é um sistema de modelagem de envidraçados e fornece um método de análise consistente do processo de transferência de calor com base nas diretrizes da *National Fenestration Rating Council* (NFRC) e na norma *ISO 15099: Thermal performance of windows, doors and shading devices -- Detailed calculations* (LBNL, 2012).

Tabela 2 - Propriedades dos Vidros Duplos

Propriedades	Vidros Duplos	
	Envidraçado 04	Envidraçado 07
Pano Exterior	Cool Lite KNT 155 Green	Bioclean
Pano Interior	Planitherm Futur Ultra N	Planilux
Espessura (mm)	4mm	4mm
U (W/m <sup>2</sup> K)	1.66	2.69
Fator Solar	0.28	0.40
Coeficiente de Sombreamento	0.33	0.46
Transmitância Visível (%)	0.42	0.71

A espessura dos panos de vidro interior e exterior foi de 4mm, e além disso, considerou-se um espaço de ar de 12mm entre os panos. Salienta-se que o vidro cool lite KNT 155 verde é um vidro com película de controle solar; o planitherm futur ultra N é um vidro com emissividade extremamente baixa; o bioclean é um vidro auto-limpante e o planilux é um vidro float multiuso.

### 2.3. Ecotect 5.6

O Ecotect é uma ferramenta de avaliação ambiental que permite simular um modelo em termos de térmica, acústica e iluminação em ambientes. Combina várias funções de análise detalhadas com uma exibição altamente visual e interativa, que apresenta resultados analíticos diretamente dentro do contexto do modelo do edifício. Os dados são gerados através de gráficos (dados quantitativos de temperatura, ganhos de calor interno e consumo energético).

Nesse software, a análise das condições de iluminação natural pode ser realizada usando dois tipos de céus (encobertos e uniformes) que correspondem a modelos normalizados pela “*Commission International of l'Eclairage*” (CIE). Apesar das potencialidades, o programa possui algumas limitações para determinar o nível de iluminação natural, dentre elas: usa o método do fator de luz do dia (FLD) do “*Building Research Establishments*” BRE que despreza as soluções de ganho indireto que resultam da reflexão da luz nas superfícies múltiplas para iluminar um espaço, considerando apenas as soluções de ganho direto. A Figura 2 apresenta a tela principal do software.

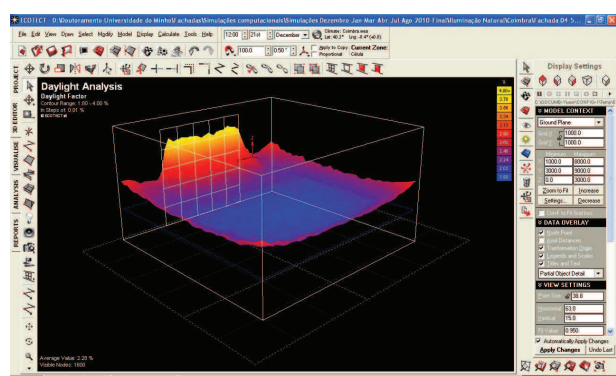


Figura 2 - Ecotect Tela Principal.

Para a avaliação do desempenho lumínico foi necessário gerar o arquivo climático “.wea” a partir de ficheiro “.epw” do software EnergyPlus. A iluminância exterior foi calculada pelo software de acordo com a latitude do local. Embora a iluminância exterior obtida pelo software Ecotect apresente diferenças da situação real, sabe-se que tais valores dependem da latitude do local e não afetam o fator luz do dia obtido por simulação computacional.

### 2.4. Fator Luz do Dia (FLD)

O fator luz do dia (FLD) é o parâmetro de uso mais generalizado na caracterização e quantificação das condições de iluminação natural nos edifícios. O FLD é definido como o quociente (expresso em porcentagem) entre a iluminância num dado ponto de um dado plano no interior de um compartimento, devida a um céu de distribuição de luminâncias conhecida, e a iluminância exterior num plano horizontal, proveniente de um hemisfério desobstruído desse céu. A contribuição da radiação direta para ambas as iluminâncias é excluída.

O fator luz do dia pode ser um parâmetro significativo para quantificar a iluminação natural sob condições de céu encoberto. Porém, sob certas condições possui limitações. Por exemplo, sob condições de céu parcialmente nublado, o fator luz do dia pode ter 0,2 a 5 vezes o valor determinado para céu nublado (GOULDING et al., 1994). Por esse motivo, foi considerado nas simulações computacionais de desempenho lumínico as condições de nebulosidade de um céu encoberto, padrão da CIE (Commission Internationale de l'éclairage).

Se a iluminação natural for satisfatória em dias encobertos, provavelmente será adequada em dias ensolarados. Porém, o fator luz do dia de uma construção otimizada em termos de iluminação natural admite luz, tanto quanto possível, o que pode ir contra as exigências de conforto visual. No entanto, o FLD não permite verificar se são atingidos os níveis de iluminância recomendados para a realização de uma determinada tarefa visual.

Tabela 3 - Fator Luz do dia recomendado em Edifícios Residenciais.

Fator Luz do Dia: Edifícios Residenciais					
Local	A Green Vitruvius (1999)		Goulding et al. (1994)	CIBSE (1999)	
	Mínimo	Médio		Mínimo	Médio
Quartos	0.3%	1%	0.5% (a $\frac{3}{4}$ do comprimento do compartimento)	0.3%	1%
Cozinhas	0.6%	2%	2% (ao meio do compartimento)	0.6%	2%
Salas de Estar	0.5%	1.5%	1% (ao meio do compartimento)	0.5%	1.5%

Fonte: A Green Vitruvius (1999); Goulding et al. (1994); CIBSE (1999).

## 2.5. Níveis de Iluminância

Para um céu nublado, independente do tipo de orientação solar, o nível de radiação é o mesmo, portanto o efeito da orientação desaparece do cálculo do fator luz do dia. Porém a simplificação introduzida com o uso de tal fator não considera a localização e orientação do edifício, estação do ano, hora do dia, incidência direta de radiação e variação das condições e céu. Daí a necessidade de observar os níveis de iluminância em dias específicos, como nos solstícios de inverno e verão, por exemplo, de forma a ter uma visão mais próxima do que ocorre nesses dois diferentes períodos. Para a verificação dos níveis de iluminância no interior do espaço, foram considerados: os solstícios de verão (21 de Junho) e de inverno (21 de Dezembro) (Figura 3); o horário de 12:00 e o céu encoberto padrão da CIE, além de orientação solar sul. Optou-se por fazer a análise para a orientação solar sul por esta ter apresentado os melhores resultados em estudos de desempenho térmico executados anteriormente, em outras fases da pesquisa, para os mesmos tipos de vidros duplos.



Figura 3 a-b - Condições de Simulação de Iluminação Natural: Esquemas ilustrativos 3D. Solstício de Inverno (21 de dezembro), 12:00 (a); Solstício de Verão (21 de Junho), 12:00 (b)



Tabela 4 – Níveis de Iluminâncias recomendadas para edifícios residenciais.

Níveis de Iluminância: Edifícios Residenciais			
Local	Goulding et al. (1994)	ABNT (1992)	CIBSE (2002)
Zonas de Passagem	50-100	75 - 100 - 150	-
Quartos de Dormir	-	100 - 150 - 200	-
Salas de Estar	200	100 - 150 - 200	100-300
Salas de Jantar	100	100 - 150 - 200	100-300
Cozinhas	200	150 - 200 - 300	150-300

Fonte: Goulding et al. (1994), ABNT (1992) e CIBSIE (2002).

### 3. RESULTADOS

A verificação do fator luz do dia (FLD) foi feita através da comparação com valores indicados por A Green Vitruvius (1999), Goulding et al. (1994) e CIBSE (1999) para tipologias residenciais. Já os níveis de iluminância obtidos foram comparados com os valores indicados por Goulding et al. (1994), ABNT (1992) e CIBSE (2002). Salienta-se que as figuras apresentadas são somente para ilustrar os resultados, sendo que os valores obtidos são apresentados nas tabelas.

#### 3.1. Funchal-Madeira

As Figuras 4 e 5 apresentam os gráficos de fator luz do dia e nível de iluminância. A Tabela 5 apresenta os valores obtidos sobre um plano horizontal (0,80m) no modelo simulado. O maior valor médio para o nível de iluminância foi obtido com o uso do envidraçado 07. O uso do envidraçado 04 indicou menor desempenho em termos de iluminação natural. Em relação ao nível de iluminância médio, os valores estão de acordo com o recomendado para todos os ambientes estudados.

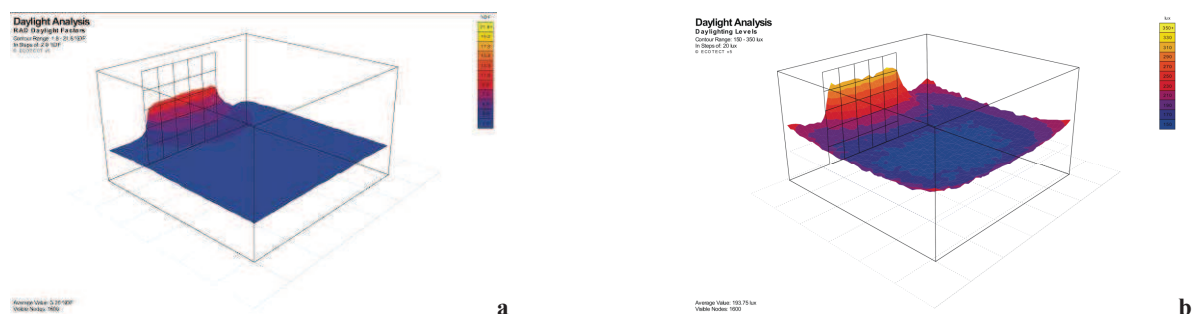


Figura 4 a-b - Funchal-Madeira - Envidraçado 04: Fator Luz do Dia (FLD) (a) e Nível de Iluminância (b)

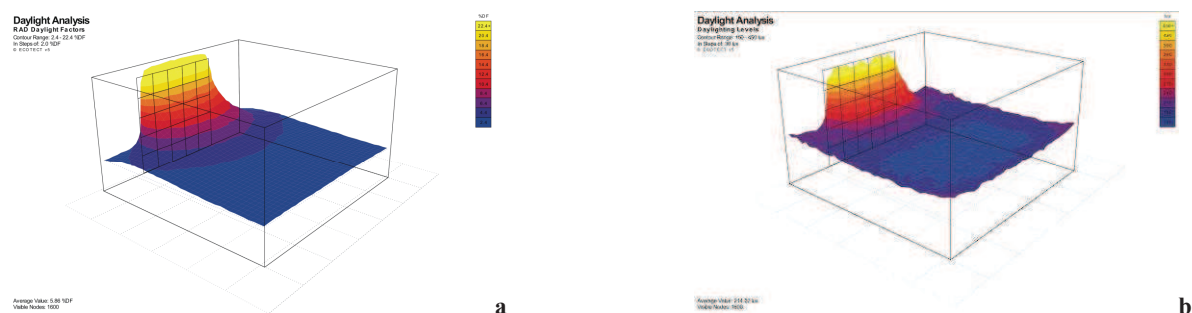


Figure 5 a-b - Funchal-Madeira - Envidraçado 07: Fator Luz do Dia (FLD) (a) e Nível de Iluminância (b)

Tabela 5 - Funchal-Madeira: Fator Luz do Dia e Nível de Iluminância.

Fachadas	FLD (%)	Verificação do FLD (%)		
		Quartos 0.3% a 1%	Sala de Estar 0.5% a 1.5%	Cozinha 0.6% a 2%
Envidraçado 04 <sub>31,6%</sub>	3,25	OK	OK	OK
Envidraçado 07 <sub>31,6%</sub>	5,86	OK	OK	OK
Fachadas	Nível de Iluminância (Lux)	Verificação do Nível de Iluminância (Lux)		
		Quartos 100-200 lux	Sala de Estar 100-300 lux	Cozinha 150-300 lux
Envidraçado 04 <sub>31,6%</sub>	193,75	OK	OK	OK
Envidraçado 07 <sub>31,6%</sub>	214,2	OK	OK	OK

### 3.2. Guimarães

As Figuras 6 e 7 apresentam os gráficos de fator luz do dia e nível de iluminância. A Tabela 6 apresenta os valores obtidos. O maior valor médio para o nível de iluminância foi obtido com o uso do envidraçado 07. Novamente, o uso do envidraçado 04 indicou menor desempenho em termos de iluminação natural. Em relação ao nível de iluminância médio, obtido para céu nublado, os valores não estão de acordo com o recomendado para cozinhas com o uso do envidraçado 04. Porém, níveis de iluminância mais elevados podem ser obtidos próximo à área envidraçada.

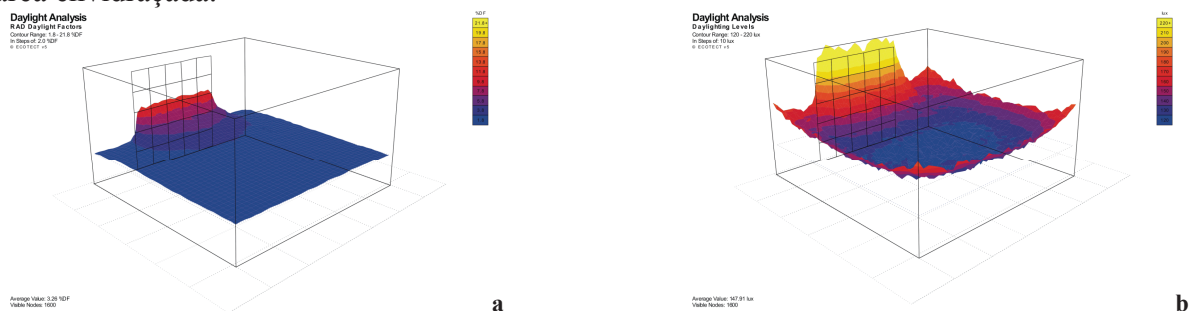


Figura 6 a-b - Guimarães - Envidraçado 04: Fator Luz do Dia (FLD) (a) e Nível de Iluminância (b)

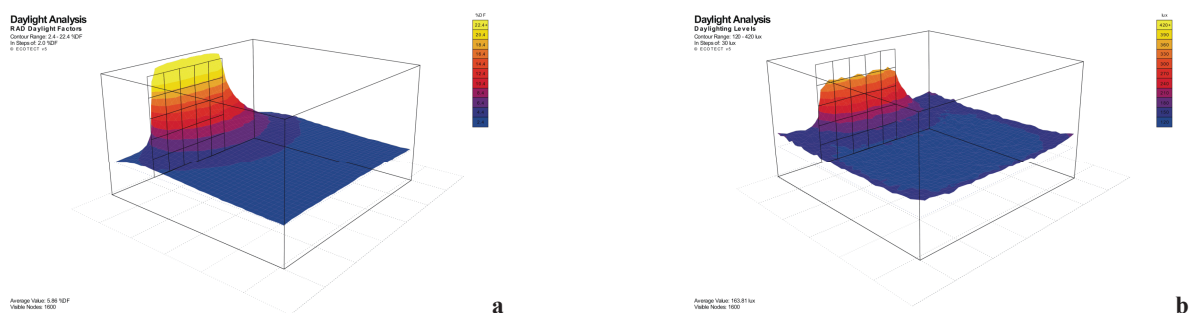


Figure 7 a-b - Guimarães - Envidraçado 07: Fator Luz do Dia (FLD) (a) e Nível de Iluminância (b)

Tabela 6 - Guimarães: Fator Luz do Dia e Nível de Iluminância.

Fachadas	FLD (%)	Verificação do FLD (%)		
		Quartos 0.3% a 1%	Sala de Estar 0.5% a 1.5%	Cozinha 0.6% a 2%
Envidraçado 04 <sub>31,6%</sub>	3,26	OK	OK	OK
Envidraçado 07 <sub>31,6%</sub>	5,86	OK	OK	OK
Fachadas	Nível de Iluminância (Lux)	Verificação do Nível de Iluminância (Lux)		
		Quartos 100-200 lux	Sala de Estar 100-300 lux	Cozinha 150-300 lux
Envidraçado 04 <sub>31,6%</sub>	147,91	OK	OK	-

Envidraçado 07 <sub>31,6%</sub>	163,81	OK	OK	OK
---------------------------------	--------	----	----	----

### 3.3. Lisboa

As Figuras 8 e 9 apresentam os resultados gráficos para o fator luz do dia (FLD) e para os níveis de iluminância. A Tabela 7 apresenta uma síntese de tais valores no plano de referência (0,8m) do compartimento analisado. O nível médio de iluminância mais elevado foi obtido com a utilização do Envidraçado 07. O envidraçado 04 apresentou desempenho. Em relação ao nível de iluminância médio, os valores encontrados estão de acordo com o recomendado para todos os ambientes.

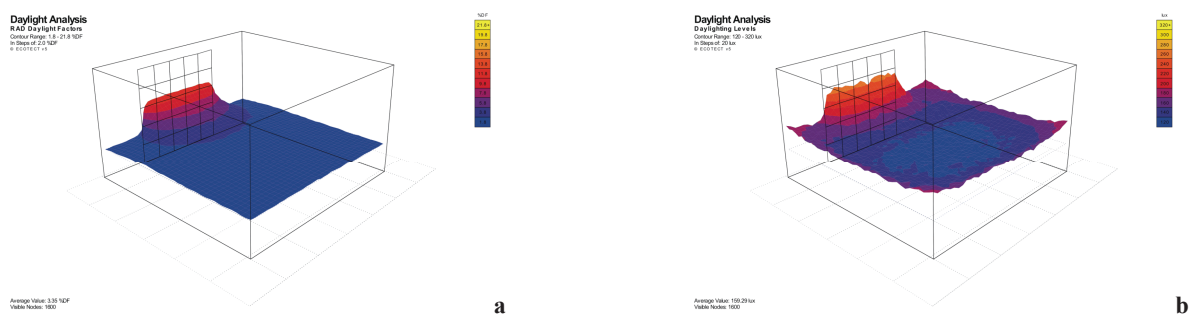


Figura 8 a-b - Lisboa - Envidraçado 04: Fator Luz do Dia (FLD) (a) e Nível de Iluminância (b)

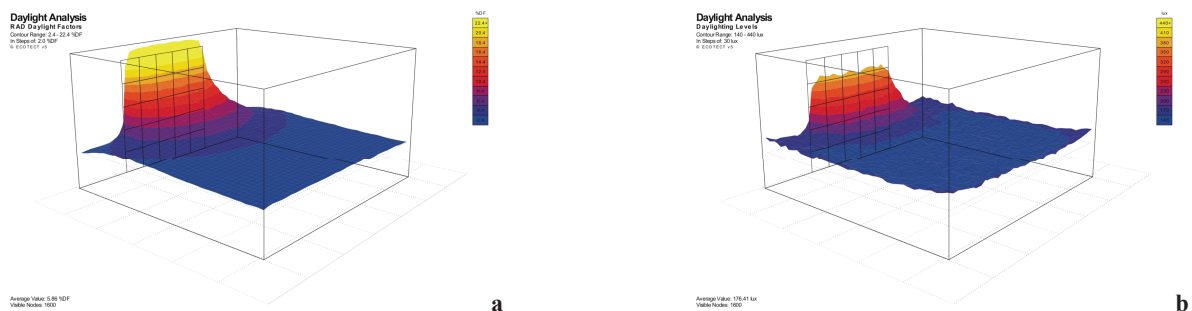


Figure 9 a-b - Lisboa - Envidraçado 07: Fator Luz do Dia (FLD) (a) e Nível de Iluminância (b)

Tabela 7 - Lisboa: Fator Luz do Dia e Nível de Iluminância.

Fachadas	FLD (%)	Verificação do FLD (%)		
		Quartos 0.3% a 1%	Sala de Estar 0.5% a 1.5%	Cozinha 0.6% a 2%
Envidraçado 04 <sub>31,6%</sub>	3,35	OK	OK	OK
Envidraçado 07 <sub>31,6%</sub>	5,86	OK	OK	OK
Fachadas	Nível de Iluminância (Lux)	Verificação do Nível de Iluminância (Lux)		
		Quartos 100-200 lux	Sala de Estar 100-300 lux	Cozinha 150-300 lux
Envidraçado 04 <sub>31,6%</sub>	159,29	OK	OK	OK
Envidraçado 07 <sub>31,6%</sub>	176,41	OK	OK	OK

### 3.4. Porto

A Tabela 8 apresenta uma síntese dos valores obtidos para o compartimento analisado. O nível médio de iluminância mais elevado foi obtido para o uso do Envidraçado 07 na fachada. O mesmo ocorreu em relação ao nível de luminância. Em todos os casos os valores de FLD recomendados são ultrapassados. Os valores do nível de iluminância médio não estão de acordo com o recomendado para cozinhas com o uso do envidraçado 04. Porém, níveis de iluminância mais elevados podem ser obtidos próximo à área envidraçada.



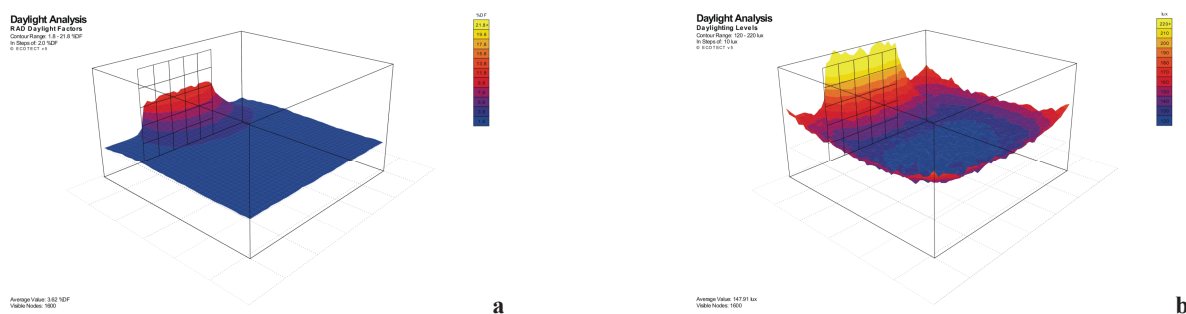


Figura 10 a-b - Porto - Envidraçado 04: Fator Luz do Dia (FLD) (a) e Nível de Iluminância (b)

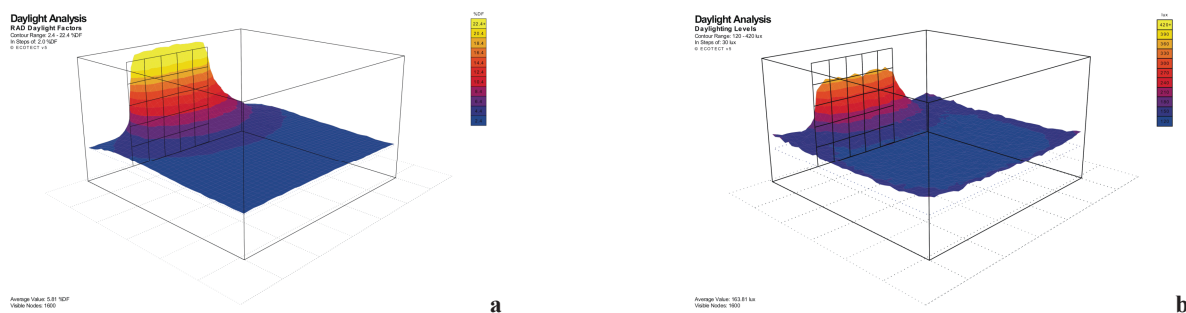


Figure 11 a-b - Porto - Envidraçado 07: Fator Luz do Dia (FLD) (a) e Nível de Iluminância (b)

Tabela 8 - Porto: Fator Luz do Dia e Nível de Iluminância.

Fachadas	FLD (%)	Verificação do FLD (%)		
		Quartos 0.3% a 1%	Sala de Estar 0.5% a 1.5%	Cozinha 0.6% a 2%
Envidraçado 04 <sub>31,6%</sub>	3,62	OK	OK	OK
Envidraçado 07 <sub>31,6%</sub>	5,81	OK	OK	OK
Fachadas	Nível de Iluminância (Lux)	Verificação do Nível de Iluminância (Lux)		
		Quartos 100-200 lux	Sala de Estar 100-300 lux	Cozinha 150-300 lux
Envidraçado 04 <sub>31,6%</sub>	147,91	OK	OK	-
Envidraçado 07 <sub>31,6%</sub>	163,81	OK	OK	OK

#### 4. CONCLUSÃO

O vidro duplo que apresentou melhor desempenho térmico em outros estudos (SACHT, 2010; SACHT et al, 2011a, SACHT et al, 2011b) também apresentou melhor desempenho em relação as condições de iluminação natural, ou seja, o envidraçado 07 (vidro duplo auto-limpante) apresentou melhor desempenho do que o envidraçado 04 (vidro duplo verde de controle solar). Essa análise é feita de acordo com os resultados encontrados neste estudo com vidros específicos e orientação solar sul. Portanto, as recomendações são válidas para a orientação sul, porque esta orientação solar é indicada no hemisfério norte para otimizar o ganho direto de radiação solar em sistemas passivos, que geralmente incluem fachadas envidraçadas orientadas ao sul.

A transmitância visível tem uma relação direta com o desempenho em relação a iluminação natural. Com base nos resultados das simulações e nos valores da transmitância visível obtidos por meio do software Window 6.2.33.0, observou-se que valores elevados de transmitância na região do visível conduzem a um melhor desempenho em termos de iluminação natural. Vidros com valores de médios a altos de transmitância visível fornecem luz suficiente, mas podem gerar ofuscamento. A escolha do envidraçado também estará de

acordo com a tarefa visual que será desempenhada no local, com o tamanho das aberturas e da sensibilidade do usuário em relação ao ofuscamento. A cor dos vidros muitas vezes é a primeira propriedade observada para a escolha e pode restringir ou dificultar o projeto de iluminação natural, como observado para o envidraçado 04 (vidro duplo verde de controle solar). Portanto, observou-se a relevância de estudos sobre a utilização de fachadas envidraçadas e sua relação com a qualidade da iluminação natural.

## REFERÊNCIAS

- A GREEN VITRUVIUS. **Principles and Practice of Sustainable Architectural Design**. Edited by J.Owen Lewis. James & James: London, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5413: Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro, 1992.
- CARDOSO, C. J. L. **Desenvolvimento da Janela Eco-Eficiente**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Gestão, Tecnologia e Física das Construções, Universidade do Minho. Guimarães, 2008.
- CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS (CIBSE). **Code for Lighting Part 2**. 2002.
- CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS (CIBSE). **Daylighting and window design. Lighting Guide LG10**. The Chartered Institution of Building Services Engineers. London, 1999.
- DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA (DGEG). Iluminação Áreas Sectoriais Eficiência Energética, 2012. [on line]. [Consult. 20 Maio 2012]. Disponível em: <http://www.dgge.pt/>
- GOULDING, J. R., LEWIS, J. O, STEEMERS, T. C. (ed.). **Energy in Architecture. The European Passive Solar Handbook**. Batsford for the Comission of the European Communities. London, 1994.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Daylight in Buildings: A source book on Daylighting Systems and Components**. [on line]. Lawrence Berkley National Laboratory, 2000. [Consult. 15 Maio 2012] Disponível em: [http://www.iea-shc.org/task21/source\\_book.html](http://www.iea-shc.org/task21/source_book.html)
- LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY (LBNL). **Window 6.2.33.0**. 2012. [on line]. [Consult. 10 May 2012]. Available in: <http://windows.lbl.gov/software/window/window.html>
- REGULAMENTO GERAL DAS EDIFICAÇÕES URBANAS (RGEU). **Decreto-Lei n.º 290/2007**, de 17 de Agosto de 2007.
- SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M. **Façade Modules for Eco-Efficient Refurbishment of Buildings: Trombe Wall Thermal Performance in different Portuguese Climates: Bragança, Coimbra, Évora and Faro**. In: SB11- World Sustainable Building Conference. Helsinki, 2011a.
- SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M. **Facades Modules for Eco-Efficient Refurbishment of Buildings: An Overview**. In: Portugal SB10 - Sustainable Building Affordable to All, 10. Algarve, 2010.
- SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M. **Façades Modules for Eco-Efficient Refurbishment of Buildings: Glazing Thermal Performance to Guimarães. Climate**. In: International Conference COST Action C25, Towards a better built environment. Austria, 2011b.
- SANTOS, A. J. **Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edifícios baseada na avaliação in situ**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Lisboa. Lisboa, 2001.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Erasmus Mundus ISAC - *Improving Skills Across Continents* pelo apoio financeiro a esta pesquisa.